

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(51) Int. Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/28	3 0 1 T	8826-4M		
	21/223	A		
// H 0 1 L 21/8238				
	27/092			
		9170-4M	H 0 1 L 27/ 08	3 2 1 F
			審査請求 有	請求項の数34. O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平6-256840

(22) 出願日 平成6年(1994)10月21日

(31) 優先権主張番号 1 4 5 4 2 9

(32) 優先日 1993年10月29日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 ピーター・ジョン・ガイス

アメリカ合衆国05489 バーモント州アン
ダーヒル アール・アール1 ボックス
5100

(74) 代理人 弁理士 合田 潔 (外2名)

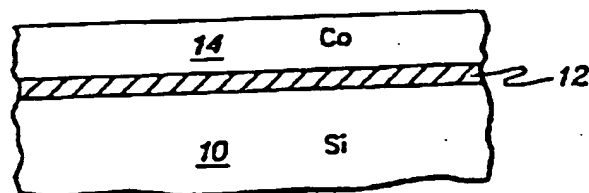
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄い金属下層を用いて形成するエピタキシャル・コバルト・シリサイド

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 熱安定性に優れたエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜と、CMOS回路に使用する浅い接合を形成するための外方拡散源を形成する方法を提供する。

【構成】 この金属層12は、シリサイド皮膜を形成する加熱工程の前に、コバルト層14の下に設ける。具体的には、タングステン、クロム、モリブデン、またはこれらのシリサイドからなる超硬金属層で、半導体ウェーハ上のシリコン基板を被覆する。超硬金属層をコバルト層で被覆する。次に、シリコン基板を被覆するエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成するのに十分な温度でウェーハをアニーリングする。アニーリング後、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の上にコバルト・シリコン・超硬金属の合金が残る。このシリサイドをドーパントの外方拡散により、薄いP-N接合を形成するのに使用する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】シリコン基板上に、タングステン、クロム、モリブデン、これらの混合物、またはタングステン、クロム、もしくはモリブデン・シリサイドからなる超硬金属の層を形成する工程と、上記超硬金属の層の上にコバルト層を形成する工程と、上記コバルト層を、上記シリコン基板上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成するのに十分な高温でアニーリングする工程とを含む、半導体デバイス中にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する方法。

【請求項2】上記アニーリング工程により、上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜上に、コバルト・シリコン・超硬金属の合金も形成することを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項3】上記超硬金属層を形成する工程と、上記コバルト層を形成する工程を、真空環境から取り出すことなく、順次真空中で行うことを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項4】上記超硬金属層がタングステンであることを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項5】上記超硬金属層が、主としてタングステン、クロム、またはモリブデンからなることを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項6】上記超硬金属層がタングステン・シリサイドであることを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項7】上記超硬金属層をシリコン基板上にスパッタリングまたは蒸着により形成することを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項8】上記コバルト層を上記超硬金属層上にスパッタリングまたは蒸着により形成することを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項9】上記アニーリング工程を、短時間熱アニールにより行うことを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項10】上記形成した超硬金属層の厚さが約0.5ないし2.5nmであることを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項11】上記形成したコバルト層の厚さが約5ないし20nmであることを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項12】上記アニーリング工程を、最低約550℃の温度で行うことを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項13】上記アニーリング工程を、約750℃ないし900℃の温度で行うことを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項14】上記アニーリング工程を、少なくとも約20秒間行うことを特徴とする、請求項13記載の方法。

【請求項15】上記エピタキシャル・コバルト・シリサ

イド皮膜の抵抗率が約 $15\mu\Omega\cdot\text{cm}$ であることを特徴とする、請求項1記載の方法。

【請求項16】上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜にドーパントを注入する工程と、P-N接合を形成するのに十分な高い駆動温度でアニーリングすることにより、上記ドーパントを上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜から上記シリコン基板に外方拡散させる工程とを含む、シリコン基板上に形成したエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜からのドーパントの外方拡散により、浅いP-N接合を形成する方法。

【請求項17】上記ドーパントが上記シリコン基板に実質的に注入されないように、上記ドーパントを注入することを特徴とする、請求項16記載の方法。

【請求項18】上記ドーパントが、ホウ素、ガリウム、リン、アンチモン、またはヒ素であることを特徴とする、請求項16記載の方法。

【請求項19】上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を、請求項1の方法で形成することを特徴とする、請求項16記載の方法。

【請求項20】上記駆動温度が、約800℃以上であることを特徴とする、請求項16記載の方法。

【請求項21】上記外方拡散工程を、少なくとも約15秒間行うことを特徴とする、請求項20記載の方法。

【請求項22】シリコン基板上にタングステン金属層を形成する工程と、

上記タングステン金属層の上にコバルト層を形成する工程と、

上記コバルトおよびタングステン層を、約550℃を超える温度で、上記シリコン基板上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成するのに十分な時間アニーリングする工程とを含む、

半導体デバイス中にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する方法。

【請求項23】上記アニーリング温度が約750ないし900℃であることを特徴とする、請求項22記載の方法。

【請求項24】上記アニーリング工程を、約20秒を超える時間行うことを特徴とする、請求項23記載の方法。

【請求項25】上記タングステン金属層を形成する工程と、上記コバルト層を形成する工程を、真空環境から取り出すことなく、順次その場で行うことを特徴とする、請求項22記載の方法。

【請求項26】上記タングステン金属層の厚さが約0.5ないし2.5nmであることを特徴とする、請求項23記載の方法。

【請求項27】上記形成したコバルト層の厚さが約5ないし20nmであることを特徴とする、請求項26記載の方法。

【請求項28】上記アニーリング工程により、上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜上に、コバルト・シリコン・タングステン金属の合金も形成することを特徴とする、請求項23記載の方法。

【請求項29】シリコン基板上にタングステン金属層を形成する工程と、

上記タングステン金属層の上にコバルト層を形成する工程と、

上記コバルトおよびタングステン層を、約550℃を超える温度で、上記シリコン基板上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成するのに十分な時間アニーリングする工程と、

エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜にドーパントを注入する工程と、

P-N接合を形成するのに十分高い駆動温度でアニーリングすることにより、上記ドーパントを上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜から上記シリコン基板に外方拡散させる工程とを含む、

エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜からのドーパントの外方拡散により、浅いP-N接合を形成する方法。

【請求項30】上記アニーリング温度が約750ないし900℃であることを特徴とする、請求項29記載の方法。

【請求項31】上記アニーリング工程を、約20秒を超える時間行うことを特徴とする、請求項30記載の方法。

【請求項32】上記ドーパントが上記シリコン基板に実質的に注入されないように、上記ドーパントを注入することを特徴とする、請求項29記載の方法。

【請求項33】上記駆動温度が、約800℃以上であることを特徴とする、請求項30記載の方法。

【請求項34】上記外方拡散工程を、少なくとも約15秒間行うことを特徴とする、請求項29記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はコバルト・シリサイド皮膜の形成に関するものであり、詳細には、薄い金属下層の使用によるエピタキシャル・コバルト・シリサイドの形成に関するものである。

【0002】

【従来の技術】コバルト・シリサイド皮膜は、ソースおよびドレイン領域に、浅いP-N接合を形成するために使用するドーパントの低抵抗の外方拡散源として、CMOS集積回路に使用されることが多い。これらのドーパントの外方拡散には、通常、ドーパントを下層のシリコン基板に十分拡散させるために、ドーパント源として使用するコバルト・シリサイド皮膜を、比較的高温に長時間加熱する必要がある。この加熱によりコバルト・シリサイド皮膜が凝集することがあるため、これらのシリサ

イドの使用が制限を受ける。凝集により、多結晶シリサイド中の既存の粒界に非常に薄い点または開口を生じ、また、コバルト・シリサイド皮膜の粒径および深さに大きなばらつきを生じるため不都合である。このため、凝集した皮膜は接触抵抗に大幅なばらつきを生じ、接触エッチ・ストップが不良となり、浅い接合の漏れが大きくなる。さらに、凝集はシリサイドの厚みの減少との相関性が高いため、従来の技術によるコバルト・シリサイド皮膜は、外方拡散源として使用した場合、厚みに実質的な下限がある。シリサイド皮膜が薄くなるにつれて、所定の外方拡散サイクルについての凝集が顕著になる。凝集しにくいシリサイドを形成する方法により、シリサイドの厚みを減少することが可能になり、(所定の外方拡散サイクルについて)従来より薄い接合が得られる。

【0003】従来から、コバルト・シリサイド皮膜の凝集を減らすことにより、熱安定性を高めようとする努力がなされてきた。たとえば、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成することにより、従来の技術による多結晶皮膜と比較して、熱安定性が改善されることが分かった。従来の技術のひとつによれば、最初に10ないし30nmのTi層をスパッタリングし、次にTi層の上にCo層をスパッタリングした後、アニーリングを行いエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する。しかし、この方法は、コバルト・シリサイド中および表面に残存するTiが、PMOSデバイスでドーパントとして使用するBなどのある種のドーパント原子と安定な化合物を生成するため、有用な外方拡散源を形成しない。これらの化合物が生成すると、外方拡散は大幅に遅くなり、シリコンとシリサイドとの界面のドーパントの接合濃度が制限される。したがって、Ti層を使用することは、P型のソース/ドレイン領域の形成には実用的ではない。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように、熱安定性が改善されたエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する方法が必要である。また、NおよびP型ソース/ドレイン領域を必要とする、CMOS回路に使用することができる浅い接合を形成する外方拡散源を形成する方法が必要である。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の原理によれば、金属下層をコバルト層の下に形成した後、加熱してシリサイド皮膜を形成する、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する方法により、この必要性が満たされ、従来の技術の制限が克服され、その他の利点も実現される。具体的には、タングステン、クロム、モリブデン、またはこれらのシリサイドからなる超硬金属層を、半導体ウェーハ上のシリコン基板の上に形成する。また、超硬金属層は、タングステン、クロム、またはモリブデンの混合物で構成されるものでもよいが、クロム

とモリブデンの混合物が好ましい。コバルト層を超硬金属層の上に形成する。次に、シリコン基板の上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜が形成するのに十分な高い温度でウェーハをアニーリングする。このアニーリング工程の後、シリコン基板を被覆するエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の上に、コバルト・シリコン・超硬金属の合金が残る。形成後の、本発明によるシリサイド皮膜は、たとえば平均抵抗率が約 $15 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ である。

【0006】方法のひとつでは、厚みが約0.5ないし2.5nmのタングステン金属層をシリコン基板上にスパッタリングまたは蒸着し、厚みが約5ないし20nmのコバルト層をタングステン金属層上にスパッタリングまたは蒸着した後、両層を約550℃を超える温度で、約20秒を超える時間アニーリングする。アニーリングの後、シリコン基板の表面上に、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を付着させ、シリサイドの表面上に、コバルト・シリコン・超硬金属の合金を付着させる。好ましくは、タングステン金属層とコバルト層を、真空環境から取り出すことなく、その場で順次形成させる。これにより、タングステン金属層の表面上に有害な酸化皮膜が形成することが避けられる。さらに好ましくは、アニーリング温度は約750ないし900℃、アニーリングは短時間熱アニーリングを用いて行う。最終的に形成されるエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の厚みは、たとえば、約40nmである。

【0007】本発明は、上記の方法などにより、シリコン基板上に形成したエピタキシャル・シリサイド皮膜からのドーパントの外方拡散により、浅いP-N接合を形成する方法も提供する。まず、B、Ga、P、Sb、Asなど、PまたはN型ドーパントのいずれかを、シリサイド皮膜のソース/ドレイン接合を形成する領域に注入する。この注入には、ドーパントが下層のシリコン基板にほとんど注入されないことが好ましい。注入後、所期のP-N接合を形成するのに十分な駆動温度で、シリサイド皮膜から下層のシリコン基板に外方拡散させる。ひとつの方法では、駆動温度は最低約800℃で、外方拡散を最低約15秒間行う。これらの条件は、当業者には周知のように、ドーパントの組み合わせにより（たとえば、BとP）変更することができる。しかし、N型とP型のドーパントには、単一のドライブを使用することが望ましい。

【0008】ひとつの方法では、シリコン基板上にタングステン金属層を形成し、タングステン金属層の上にコバルト層を形成し、コバルトおよびタングステン層を、約550℃を超える温度で、約20秒を超える時間アニーリングして、シリコン基板上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成し、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜にドーパントを注入し、P-N接合を形成するのに十分な高い駆動温度でアニーリングする

ことにより、上記ドーパントを上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜から上記シリコン基板に外方拡散させることにより、浅いP-N接合を形成する。当業者に周知のように、駆動温度はドーパントの種類および所期の接合ドーパント濃度により変化させることができる。

【0009】本発明の重要な利点は、熱安定性が改善され、所期のドーパントと反応する残渣を生成しないエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜が形成されることである。したがって、本発明により形成されるエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜により、凝集に伴う問題を生じることなく、N型およびP型ソース/ドレイン領域を形成することができる。他の利点は、本発明により形成したエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜は、均一性が改善され、これにより、たとえば、接合漏れを増大することなく、シリサイドとシリコンとの界面を接近させて配置することができる。さらに、本発明により形成した凝集しないシリサイド皮膜は、良好な接触エッチ・ストップおよび接点メタラジのためのバリア金属を生成する。これに反して、従来の技術による凝集しやすいシリサイド皮膜は、シリサイド中に間隙を有する傾向があり、これにより接点のエッチング中に接合シリコンがエッチングされ、接点メタラジが接合部に浸透し、これらはいずれも接合漏れの原因となる。

【0010】

【実施例】本発明は、集積回路における自己整合性の浅い接合の形成に適用できる、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する方法と、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜からの外方拡散の方法を提供する。さらに、本発明により形成したエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜は、すでに形成された浅い接合のシリサイドに必要ないかなる方法にも利用できる。本発明によれば、コバルト層の下に金属の下層を形成した後、金属およびコバルト層を加熱してシリサイド皮膜を形成する。

【0011】具体的には、タングステン、クロム、モリブデン、またはこれらのシリサイドからなる超硬金属層を、半導体ウェーハ上のシリコン基板の上に形成する。また、超硬金属層は、タングステン、クロム、またはモリブデンの混合物も使用できる。使用できる好ましい混合物はクロムとモリブデンの混合物で、合金を構成していると考えられる。コバルト層を超硬金属層の上に形成する。次に、シリコン基板の上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜が形成するのに十分な高い温度でウェーハをアニーリングする。このアニーリング工程の後、シリコン基板を被覆するエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を被覆するように、コバルト・シリコン・超硬金属の合金が残る。形成されたシリサイド皮膜を外方拡散源として使用することについて、以下に説明する。

【0012】図1を参照すると、好ましい方法では、シリコン基板10を設け、シリコン基板10の上に、厚み約0.5ないし2.5nmのタングステン金属層12をスパッタリングまたは蒸着により付着させる。層12には、これよりも厚いタングステンを使用してもよいが、厚みが約3nmを超えると、シリサイド皮膜の品質が劣化する。また、タングステンは比較的重い材料であるため、スパッタリングが好ましく、アルゴン雰囲気を使用すれば、タングステンは均一に、徐々にスパッタリングされる。シリコン基板10は、たとえば、CMOS回路でソースおよびドレイン拡散を必要とするような、半導体ウェーハの領域で見ることができる。

【0013】厚みが約5ないし20nmのコバルト層14を、タングステン金属層12の上にスパッタリングまたは蒸着により付着させる。次に、タングステン層12、コバルト層14、およびシリコン基板10を、約550℃を超える温度で、約20秒を超える時間アニーリングして、最終のシリサイド皮膜を形成させる。さらに好ましい時間は約30秒である。また、より好ましくは、アニーリング温度は約750ないし900℃とし、最適アニーリング温度は約850℃である。アニーリングの間、コバルト層14からコバルト原子がタングステン金属層を通して下方に拡散し、基板中のシリコンと反応して、エピタキシャルC₆Si₂を形成する。

【0014】コバルト層14を形成する工程は、タングステン層12上に好ましくない酸化物が生成しないように、タングステン金属層12の形成に使用したと同じ真空環境で行うのが好ましい。たとえば、これは、ウェーハをスパッタリング装置から取り出さずに、タングステンとコバルトの両方をスパッタリングすればよい。アニーリングは、C₆Si₂生成のための反応温度まで急速に加熱できるように、短時間熱アニーリング(RTA)により行うのが好ましい。しかし、炉などの他の装置を使用してもよい。

【0015】次に図2を参照すると、アニーリング後、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜16を、シリコン基板10の上に付着させ、シリサイド皮膜16の上にコバルト・シリコン・タングステンの合金の層18を付着させる。最終的に形成されたエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜16の厚みは、たとえば約40nmである。合金層18は、タングステン金属層12の元の厚みとほぼ同一で、たとえば約0.5ないし2.5nmである。さらに、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜16は、C₆Si₂の形態であることに注目されたい。他の形態のコバルト・シリサイドは、エピタキシャル層を形成しない。

【0016】最終のエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の特性のいくつかは、従来の多結晶C₆Si₂皮膜の特性に匹敵する。たとえば、従来のC₆Si₂皮膜は、18nmのC₆層をスパッタリングし、窒素に約

5ないし10%の水素を含有する化成ガス中で750℃で30秒間アニーリングして形成する。この皮膜の平均面積抵抗は、約3Ω/cm²である。これに対して、本発明によれば、18nmのスパッタリングしたC₆層の下にスパッタリングした1.0nmのW層を使用して、エピタキシャルC₆Si₂皮膜が形成される。次に850℃で30秒間アニーリングを行う。このシリサイド皮膜の平均面積抵抗は約2.7Ω/cm²であった。この面積抵抗は、本発明により、C₆がほとんどすべて、C₆Si₂に変換することを示す。このように、本発明によるシリサイド皮膜は、従来のシリサイド皮膜と面積抵抗がほぼ同一である。

【0017】反応機構に関しては、タングステン層12が、低温ではC₆にもSiにも拡散バリアとして機能すると考えられている。低温でC₆とSiが反応すると、通常C₆SiおよびC₆Si₂が生成するが、これらはエピタキシャル・シリサイドを生成せず、電気抵抗が高いため、好ましくない形態である。タングステン層12は、十分高温に達するまで、これらの好ましくない反応を防止するため、エピタキシャルC₆Si₂の生成を助ける。この高温では、C₆はタングステン層を通して拡散し、Siと反応して、実質的に所期のC₆Si₂形態のみが生成し、中間体の低温C₆SiおよびC₆Si₂相の生成は起こらない。

【0018】図1および図2はタングステンの超硬金属層に関して説明したが、周期表の他のVIB族金属（すなわち、クロムおよびモリブデン）も、コバルト層の下に形成する超硬金属として使用できる。さらに、VIB族金属のシリサイドも超硬金属層として使用することができると考えられる。これら他の材料はすべて、上記タングステンに関して説明した拡散バリアとして機能しうる特性を有する。具体的には、これらの特性としては、VIB族金属はC₆Si₂の生成に必要な温度より高い温度に達するまで、これら自体シリサイドを生成しないこと、およびVIB族金属のシリサイドは、C₆Si₂よりも融点が高いことなどがある。さらに、これらの代替超硬金属層の材料はB、Ga、P、Sb、またはAsと反応して安定な化合物を生成せず、したがって下記のような有効な外方拡散源として使用することができる。

【0019】本発明はエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する方法の他に、上記の方法などにより、前もってシリコン基板上に形成してあるエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜からドーパントを外方拡散することにより、浅いP-N接合を形成する方法も提供する。最初に、B、P、Asなど、P型またはN型のドーパントを、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜のソース/ドレイン接合を形成すべき領域に注入する。この注入を行う際、ドーパントが下層のシリコン基板に実質的に注入されないことが好ましい。注入後、

所期のP-N接合を形成するのに十分高い駆動温度で、シリサイド皮膜から下層のシリコン基板にドーパントを外方拡散させる。当業者には周知のように、外方拡散条件は、ドーパントの種類および所期の接合特性により変化する。

【0020】本発明の好ましい方法によれば、まずシリコン基板上にタングステン金属層を形成し、次にこのタングステン金属層の上にコバルト層を形成し、コバルトおよびタングステンの層を、約550℃を超える温度で、約20秒を超える時間アニーリングして、シリコン基板上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する。次に、このエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜にドーパントを注入する（この注入は、図2の矢印20で示す）。最後に、P-N接合を形成するのに十分高い駆動温度でアニーリングして、ドーパントをエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜から下層のシリコン基板に外方拡散させる。駆動温度は、所要の接合特性により決定する。当業者に周知のように、駆動温度および（または）時間は、ドーパントの種類および所要の接合ドーパント・プロファイル（たとえばドーパント濃度および深さ）により変化する。

【0021】本発明により形成したエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の顕著な利点は、従来の多結晶コバルト・シリサイド皮膜と比較して、耐凝集性が非常に高いことである。図3は、本発明によるエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の平均面積抵抗と、アニーリング温度との関係を従来のコバルト・シリサイド皮膜のプロファイルと対照したグラフである。2種類の従来のコバルト・シリサイド皮膜は、750℃30秒および850℃30秒のアニーリング条件で形成したものである。エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜は、Wの下層を使用して、850℃30秒のアニーリング条件で形成したものである。その後、グラフに示すように、各皮膜を連続して450秒のRTA化成ガスによるアニーリングを行った。各アニーリング後の面積抵抗を縦軸にプロットした。図3に示すように、W/CoS₂i₂皮膜は、約1000℃を超えても高い熱安定性を示したが、従来のCoSi₂皮膜は、著しい凝集を示した。

【0022】本発明のエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の外方拡散特性は、皮膜にAsまたはBのいずれかを注入し、各ドーパントを、時間および温度を変えて下層のシリコン基板に外方拡散させた後、二次イオン質量分析（SIMS）によりドーパントとCoのプロファイル測定することにより決定した。ドーパントの注入の前に、シリサイド皮膜を、ドーパント注入のためのスペーサとして機能する30nmのSi₃N₄皮膜、外方拡散ドライブの間のドーパントの蒸発を防止するためのキャッピング皮膜、および後の接点のエッチングのエッチ・ストップで被覆した。ヒ素を最初に注入した。図4は、本発明による1.0nmのWの下層を有する、コ

バルト・シリサイドを形成したシリコン・ウェーハへのヒ素の外方拡散における、ヒ素ドーパントの濃度と、SIMSプロファイルの関係を、従来の方法によるシリサイド皮膜（従来のCoSi₂と1.0nmのTiの下層を使用して形成したCoSi₂）を有するウェーハと対比して示す。ヒ素は、 1×10^{18} 原子/cm²の量を、エネルギー・レベル60keVで注入し、900℃、240秒のRTAアニーリングを行った。深さ方向の軸に沿って、シリコン基板の表面は約0.11μmの深さ付近でピークが始まる。3種類のシリサイド皮膜はすべて、Asのインターフェース濃度およびドーパントのプロファイルに関しては、ほとんど同様な性能を有することが分かる。

【0023】図5は、本発明によるエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を有するシリコンウェーハにヒ素を外方拡散した場合の、コバルト濃度とウェーハ深さSIMSプロファイルとの関係を、従来の多結晶コバルト・シリサイド皮膜と対比して示したグラフである。処理条件は図4のウェーハと同様とした。深さが約0.15μmを超えるとCo濃度が急激に低下することは、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜ではインターフェースが急激に変化することを示している。

【0024】図6および図7に示すように、図4および図5と同一条件で形成したウェーハに、ホウ素を注入した。ただし、注入量は 1×10^{18} 原子/cm²、エネルギーは20keVとし、900℃、60秒のRTAアニーリングを行った。図6は、本発明によるコバルト・シリサイドを形成したシリコン・ウェーハへのホウ素の外方拡散における、ホウ素ドーパントの濃度と、SIMSプロファイルの関係を、従来のCoSi₂皮膜、またはTiの下層を使用して形成したCoSi₂皮膜を有するウェーハと対比して示す。Bの界面濃度（シリコンとシリコンの界面の深さは約0.11μm）は、Tiを使用して形成したCoSi₂皮膜と比較して、Wを使用して形成した皮膜より著しく高いことが分かる。上記のように、Ti原子は、Bと安定な化合物を生成し、これが外方拡散を遅くする。Bの注入濃度を増加した試験を行ったが、Tiを使用して形成したCoSi₂皮膜を使用した場合、最大界面濃度が認められるほど増大しないことが分かった。

【0025】図7は、本発明によるコバルト・シリサイドを形成したシリコン・ウェーハへのホウ素の外方拡散における、コバルトの濃度と、ウェーハ深さのSIMSプロファイルの関係を、従来のシリサイド皮膜を有するウェーハと対比して示したグラフである。この場合も、Wの下層を使用して形成したCoSi₂皮膜は、エピタキシャルの特質により、（約0.13ないし0.16μmの深さで見られるように）急激な界面を示す。

【0026】以上本発明を詳細に説明したが、本発明は上記の特定の形態に限定されるものではなく、代替およ

び同等の方法も本発明の原理および範囲に含まれると考えられる。

【0027】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0028】(1) シリコン基板上に、タングステン、クロム、モリブデン、これらの混合物、またはタングステン、クロム、もしくはモリブデン・シリサイドからなる超硬金属の層を形成する工程と、上記超硬金属の層の上にコバルト層を形成する工程と、上記コバルト層を、上記シリコン基板上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成するのに十分な高温でアニーリングする工程とを含む、半導体デバイス中にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する方法。

(2) 上記アニーリング工程により、上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜上に、コバルト・シリコン・超硬金属の合金も形成することを特徴とする、上記(1)の方法。

(3) 上記超硬金属層を形成する工程と、上記コバルト層を形成する工程を、真空環境から取り出すことなく、順次その場で行うことを特徴とする、上記(1)の方法。

(4) 上記超硬金属層がタングステンであることを特徴とする、上記(1)の方法。

(5) 上記超硬金属層が、主としてタングステン、クロム、またはモリブデンからなることを特徴とする、上記(1)の方法。

(6) 上記超硬金属層がタングステン・シリサイドであることを特徴とする、上記(1)の方法。

(7) 上記超硬金属層をシリコン基板上にスパッタリングまたは蒸着により形成することを特徴とする、上記(1)の方法。

(8) 上記コバルト層を上記超硬金属層上にスパッタリングまたは蒸着により形成することを特徴とする、上記(1)の方法。

(9) 上記アニーリング工程を、短時間熱アニールにより行うことを特徴とする、上記(1)の方法。

(10) 上記形成した超硬金属層の厚さが約0.5ないし2.5nmであることを特徴とする、上記(1)の方法。

(11) 上記形成したコバルト層の厚さが約5ないし20nmであることを特徴とする、上記(1)の方法。

(12) 上記アニーリング工程を、最低約550℃の温度で行うことを特徴とする、上記(1)の方法。

(13) 上記アニーリング工程を、約750℃ないし900℃の温度で行うことを特徴とする、上記(12)の方法。

(14) 上記アニーリング工程を、少なくとも約20秒間行うことを特徴とする、上記(13)の方法。

(15) 上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の抵抗率が約 $15\mu\Omega\cdot\text{cm}$ であることを特徴とする、上記(1)の方法。

る、上記(1)の方法。

(16) 上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜にドーパントを注入する工程と、P-N接合を形成するのに十分な高い駆動温度でアニーリングすることにより、上記ドーパントを上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜から上記シリコン基板上に外方拡散させる工程とを含む、シリコン基板上に形成したエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜からのドーパントの外方拡散により、浅いP-N接合を形成する方法。

(17) 上記ドーパントが上記シリコン基板に実質的に注入されないように、上記ドーパントを注入することを特徴とする、上記(16)の方法。

(18) 上記ドーパントが、ホウ素、ガリウム、リン、アンチモン、またはヒ素であることを特徴とする、上記(16)の方法。

(19) 上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を、請求項1の方法で形成することを特徴とする、上記(16)の方法。

(20) 上記駆動温度が、約800℃以上であることを特徴とする、上記(16)の方法。

(21) 上記外方拡散工程を、少なくとも約15秒間行うことを特徴とする、上記(20)の方法。

(22) シリコン基板上にタングステン金属層を形成する工程と、上記タングステン金属層の上にコバルト層を形成する工程と、上記コバルトおよびタングステン層を、約550℃を超える温度で、上記シリコン基板上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成するのに十分な時間アニーリングする工程とを含む、半導体デバイス中にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成する方法。

(23) 上記アニーリング温度が約750ないし900℃であることを特徴とする、上記(22)の方法。

(24) 上記アニーリング工程を、約20秒を超える時間行うことを特徴とする、上記(23)の方法。

(25) 上記タングステン金属層を形成する工程と、上記コバルト層を形成する工程を、真空環境から取り出すことなく、順次その場で行うことを特徴とする、上記(22)の方法。

(26) 上記タングステン金属層の厚さが約0.5ないし2.5nmであることを特徴とする、上記(23)の方法。

(27) 上記形成したコバルト層の厚さが約5ないし20nmであることを特徴とする、上記(26)の方法。

(28) 上記アニーリング工程により、上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜上に、コバルト・シリコン・タングステン金属の合金も形成することを特徴とする、上記(23)の方法。

(29) シリコン基板上にタングステン金属層を形成する工程と、上記タングステン金属層の上にコバルト層を形成する工程と、上記コバルトおよびタングステン層

13

を、約550℃を超える温度で、上記シリコン基板上にエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜を形成するのに十分な時間アニーリングする工程と、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜にドーパントを注入する工程と、P-N接合を形成するのに十分高い駆動温度でアニーリングすることにより、上記ドーパントを上記エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜から上記シリコン基板に外方拡散させる工程とを含む、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜からのドーパントの外方拡散により、浅いP-N接合を形成する方法。

(30) 上記アニーリング温度が約750ないし900℃であることを特徴とする、上記(29)の方法。

(31) 上記アニーリング工程を、約20秒を超える時間行うことを特徴とする、上記(30)の方法。

(32) 上記ドーパントが上記シリコン基板に実質的に注入されないように、上記ドーパントを注入することを特徴とする、上記(29)の方法。

(33) 上記駆動温度が、約800℃以上であることを特徴とする、上記(30)の方法。

(34) 上記外方拡散工程を、少なくとも約15秒間行うことを特徴とする、上記(29)の方法。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、熱安定性に優れたエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜と、CMOS回路に使用する浅い接合を形成するための外方拡散源を形成する方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の方法による、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の形成を示す断面図である。

【図2】本発明の方法による、エピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の形成を示す断面図である。

【図3】本発明の方法により形成したエピタキシャル・コバルト・シリサイド皮膜の平均面積抵抗と、アニー

14

ング温度との関係を、従来のコバルト・シリサイド皮膜のプロファイルと対比して示すグラフである。

【図4】本発明の方法により形成したコバルト・シリサイド皮膜を有するシリコンウェーハへのヒ素の外方拡散における、ヒ素ドーパント濃度と、深さSIMSプロファイルとの関係を、従来の方法を使用して形成したシリサイド皮膜を有するウェーハと対比して示すグラフである。

【図5】本発明の方法により形成したコバルト・シリサイド皮膜を有するシリコンウェーハへのヒ素の外方拡散における、コバルト濃度と、ウェーハ深さSIMSプロファイルとの関係を、従来の方法を使用して形成したシリサイド皮膜を有するウェーハと対比して示すグラフである。

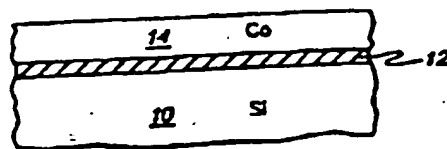
【図6】本発明の方法により形成したコバルト・シリサイド皮膜を有するシリコンウェーハへのホウ素の外方拡散における、ホウ素ドーパント濃度と、深さSIMSプロファイルとの関係を、従来の方法を使用して形成したシリサイド皮膜を有するウェーハと対比して示すグラフである。

【図7】本発明の方法により形成したコバルト・シリサイド皮膜を有するシリコンウェーハへのホウ素の外方拡散における、コバルト濃度と、ウェーハ深さSIMSプロファイルとの関係を、従来の方法を使用して形成したシリサイド皮膜を有するウェーハと対比して示すグラフである。

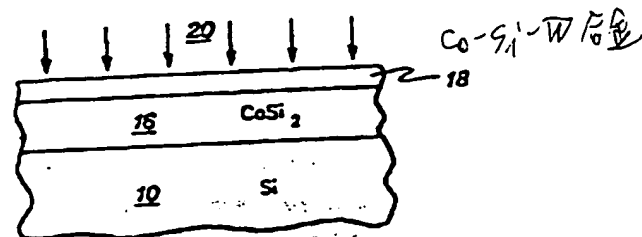
【符号の説明】

- 10 シリコン基板
- 12 タングステン層
- 14 コバルト層
- 16 コバルト・シリサイド層
- 18 コバルト・シリコン・タングステン合金層

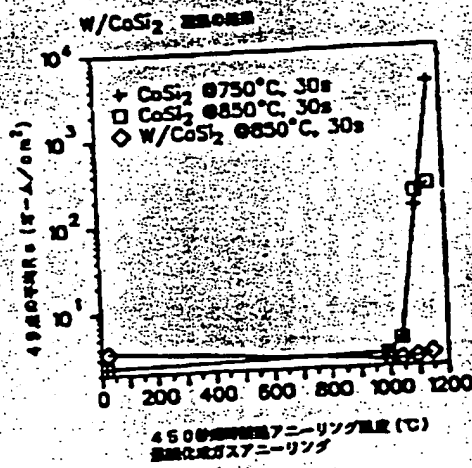
【図1】



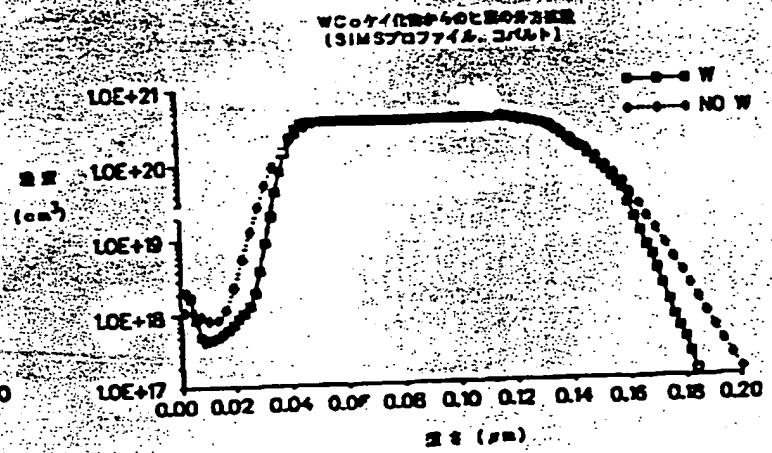
【図2】



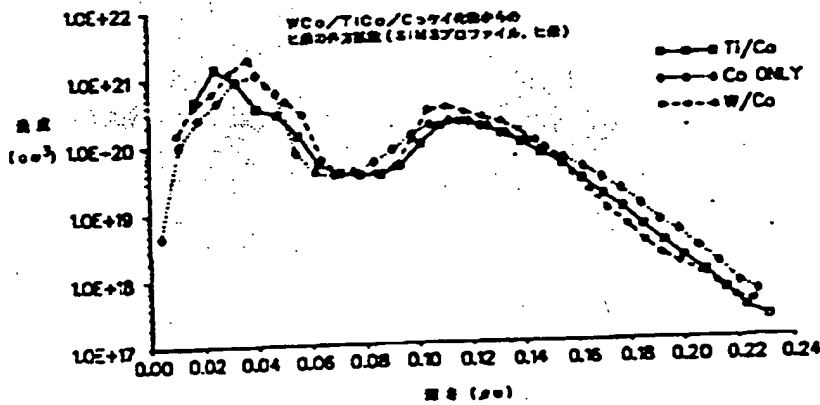
【図3】



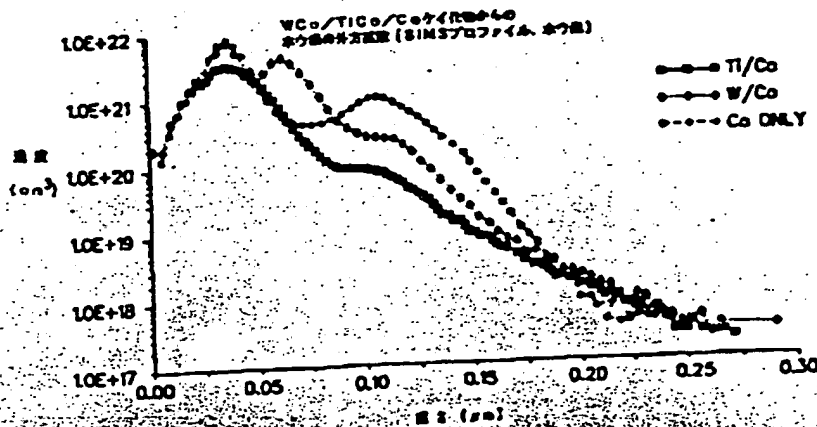
【図5】



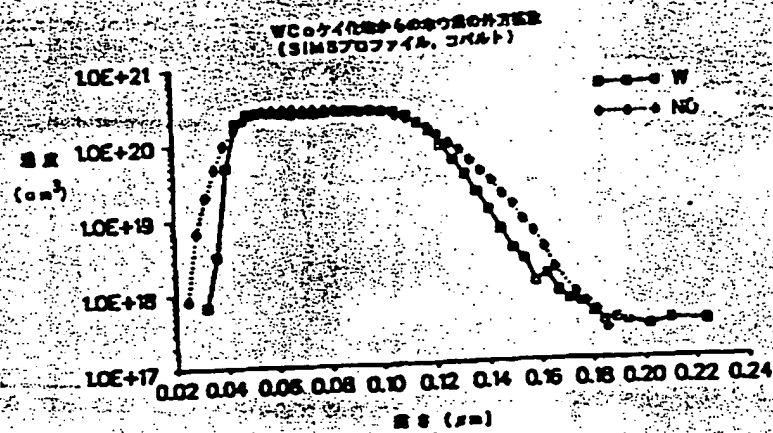
【図4】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72) 発明者 トマス・ジョン・リカータ
アメリカ合衆国12540 ニューヨーク州ラ
グランジェビル パトリック・ドライブ
11

(72) 発明者 ハーバート・レイ・ホー
アメリカ合衆国10992 ニューヨーク州ワ
シントンビル パーネット・ウェイ 7
(72) 発明者 ジェームズ・ガードナー・リヤン
アメリカ合衆国06470 コネチカット州ニ
ュータウン ボッグズ・ヒル・ロード
100